

저열 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 고강도 영역에서의 강도발현 특성

Strength Development of Low Heat Portland Cement Concrete in High Strength Range

하재담 *
Ha, Jae Dam

엄태선 **
Um, Tai Sun

이종열 ***
Lee, Jong Ryul

권영호 ****
Kwon, Young Ho

ABSTRACT

Strength development of low heat portland cement(Type IV) concrete in high strength range is tested. In this study strength development according to water-binder ratio, strength development according to age, effect of fly ash and super plasticizer are tested.

This study tests effect of low heat portland cement in high strength range concrete and provide guide line concrete mix design for later study and/or construction.

1. 서론

콘크리트의 강도를 높이려면 물-결합재 비를 낮추어야하지만 물-결합재 비가 작아지면 콘크리트의 작업성이 저하되는 문제점이 있다. 그러나 저열 포틀랜드 시멘트는 고성능 AE감수제에 의한 분산효과가 보통 포틀랜드 시멘트보다 좋기 때문에 낮은 물-결합재 비로도 소정의 작업성을 얻을 수 있으며, 결과적으로 고강도 콘크리트를 얻을 수 있다. 또한, 저열 포틀랜드 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트에 비해서 시멘트 광물조성 중 C_3A 및 C_3S 량이 적고, C_2S 량이 많기 때문에 초기강도 발현은 다소 늦지만 장기강도가 큰 장점을 가지고 있다.

최근 매스 콘크리트뿐만 아니라 고강도·고유동 콘크리트에서도 저열 포틀랜드 시멘트가 주목받고 있다. 국내에서는 1990년대 중반부터 LNG 지하탱크 구조물, 댐 구조물 등의 대규모 매스 콘크리트 구조물의 온도균열을 제어할 목적으로 저열 포틀랜드 시멘트의 연구 및 개발이 시작되었다.

콘크리트 구조물의 고충화 및 고강도화로 인하여 고강도 콘크리트가 요구되고 있으며, 고강도 콘크리트는 단위시멘트량이 증가하기 때문에 보통 포틀랜드 시멘트를 사용할 경우, 수화에 의한 발열이 크고 온도균열 및 장기강도 증진을 저하시키는 등의 문제점이 있으므로, 이를 해결하기 위해서 저열 포틀랜드 시멘트를 고강도 콘크리트에 적용하려고 하는 연구가 진행되었다. 그 결과 저열 포틀랜드 시멘트는 고성능 AE감수제와 매우 효율적으로 작용하고, 유동성 및 장기강도가 우수한 것으로 판명되어, 고강도·고유동 콘크리트 제조에 크게 유리함이 입증되었다.

* 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원(공학박사)

** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장(공학박사)

*** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

**** 정희원, 동양대학교 건축공학과 교수

본 연구에서는 저열 포틀랜드 시멘트를 사용하여 고강도영역에서의 강도발현 특성을 물-결합재 비, 재령 등에 따른 강도발현, 혼화제 및 혼화제의 영향 등으로 평가·검토하였다.

이를 통해 고강도 콘크리트에 국내에서 유통되고 있는 저열 포틀랜드 시멘트의 적용 가능성을 검토하고, 이후 관련 연구나 실제 시공 현장에 적용될 수 있는 가이드라인 콘크리트 배합을 제시하고자 한다.

2. 사용재료 및 콘크리트 배합

2.1. 사용재료

본 연구에 사용된 재료는 S사의 저열 포틀랜드 시멘트, 삼천포산 플라이 애시, 공주산 20mm 쇄석, 세척사,이며, 고성능 AE감수제(SP)로는 나프탈렌계(NS) 및 폴리카본산계(PC)를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 저열 포틀랜드 시멘트의 화학적, 물리적 특성은 다음 표 1 및 표 2와 같다.

표 1 시멘트의 화학적 성질

항목	화학적 성분(%)						광물조성(%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Ig.loss	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
시험 결과	25.3	3.1	3.6	62.5	2.3	0.7	31	48	3	11

표 2 시멘트의 물리적 성질

항목	Blaine (cm ² /g)	안정도 (%)	KS수화열(cal/g)		응결(길모아시험)		KS 압축강도(MPa)			
			7일	28일	초결 (분)	종결 (시:분)	3일	7일	28일	91일
			시험 결과	3,500	0.03	55	67	350	8:10	12.6

2.2 콘크리트 배합

본 연구에서는 고강도 콘크리트 배합을 목표로 물-결합재 비를 35%, 30%, 25% 수준으로 설정하였다. 각 물-결합재 비에 대하여 나프탈렌계 및 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하여 성능을 비교하였다. 또한, 저열 포틀랜드 시멘트만을 사용한 배합(L)과 시멘트량의 10%를 플라이애쉬로 치환하여 배합(LF)을 선정하여 결과를 비교하였다. 또한 목표 슬럼프는 18±2.5cm로, 목표 공기량은 4.5±0.5%로 설정하여 배합을 선정하였다.

본 연구에서 사용한 물-결합재 비별 콘크리트 배합은 다음 표 3 및 표 4와 같다.

표 3 물-결합재 비별 콘크리트 배합표(1)

배합 구분 (물-결합재 비)	SP 종류	G _{max} (mm)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)					
					W	B		S	G	SP (B×%)
						C	FA			
35% Series	NS	20	35.0	47.0	160	457	-	810	924	0.90
	PC			47.0	160	457	-	810	924	0.50
30% Series	NS		30.0	45.0	160	533	-	748	925	0.85
	PC			45.0	160	533	-	748	925	0.50
25% Series	NS		25.0	43.0	160	640	-	678	909	1.00
	PC			43.0	160	640	-	678	909	0.65

표 4 물-결합재 비별 콘크리트 배합표(2)

배합 구분 (물-결합재 비)	SP 종류	G _{max} (mm)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)					
					W	B		S	G	SP (B×%)
						C	FA			
35%+FA10 Series	NS	20	35.0	45.0	165	424	47	758	937	1.00
	PC			45.0	165	424	47	758	937	0.50
30%+FA10 Series	NS		30.0	42.5	165	495	55	688	942	0.90
	PC			42.5	165	495	55	688	942	0.50
25%+FA10 Series	NS		25.0	39.0	165	594	66	596	942	1.00
	PC			39.0	165	594	66	596	942	0.60

3. 시험 결과 및 분석

3.1. 시험 결과

각 배합에 대한 굳지 않은 콘크리트 특성 및 재령별 콘크리트의 압축강도 측정결과는 다음 표 5 및 그림 1 그림 2와 같다.

표 5 콘크리트 배합별 시험 결과

배합 구분	SP 종류	Air (%)	Slump (Cm)	압축강도(MPa)				
				3일	7일	28일	56일	91일
35% Series	NS	4.8	17.5	21.2	34.5	53.4	66.3	67.9
	PC	4.8	16.0	16.5	31.2	54.6	68.0	69.7
30% Series	NS	4.7	18.5	27.8	42.8	60.5	73.2	77.0
	PC	4.7	20.0	21.5	38.5	60.9	73.3	74.1
25% Series	NS	4.6	20.5	38.1	54.0	71.4	80.9	85.8
	PC	4.4	18.0	30.3	50.2	70.7	86.0	89.8
35%+FA10 Series	NS	4.8	20.5	16.9	26.3	44.3	51.8	59.2
	PC	4.5	20.0	15.3	29.1	50.8	61.8	71.5
30%+FA10 Series	NS	4.7	17.5	24.7	36.0	56.7	65.3	78.7
	PC	4.3	20.0	19.4	35.5	56.4	72.6	74.6
25%+FA10 Series	NS	4.5	20.5	31.2	44.3	61.8	72.4	79.3
	PC	4.0	20.5	25.6	45.1	65.0	74.6	77.7

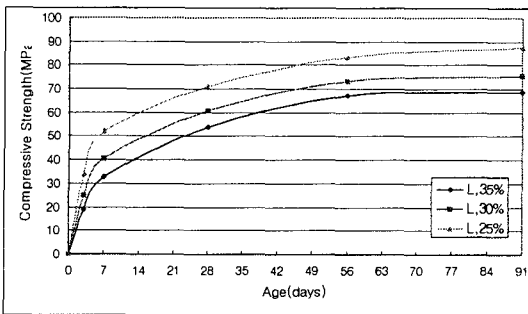


그림 1 재령별 콘크리트 압축강도(L)

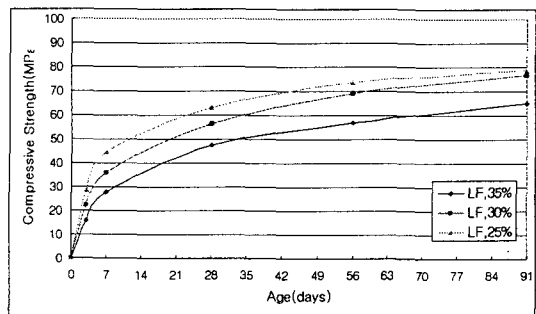


그림 2 재령별 콘크리트 압축강도(LF)

3.2 시험 결과 분석

3.1 절의 콘크리트 압축강도 시험결과 중 28일 압축강도에 대하여 결합재-물 비와 압축강도의 관계 및 관계식을 추정하면 다음 그림 3 및 그림 4와 같다.

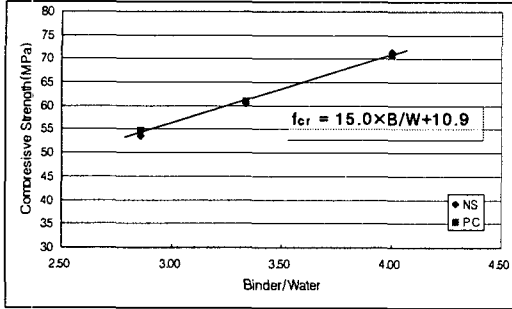


그림 3 결합재-물비와 압축강도의 관계(L)

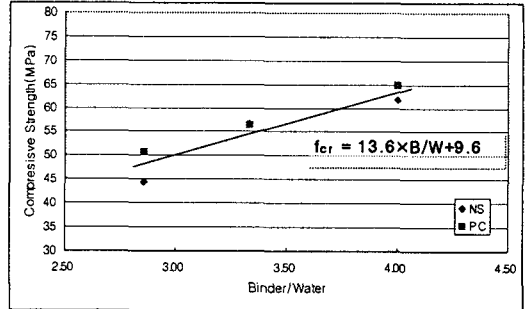


그림 4 결합재-물비와 압축강도의 관계(LF)

4. 결론

저열 포틀랜드 시멘트를 사용하여 고강도 콘크리트 배합 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 저열 포틀랜드 시멘트를 사용한 고강도 콘크리트 배합에서는 폴리카본산계 고성능 AE감수제가 나프탈렌계 고성능 AE감수제에 비하여 크게 효과적임을 확인할 수 있었다. 동일한 슬럼프를 얻고자 할 때 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하면 적은 양으로도 큰 감수효과를 볼 수 있다.
- 2) 고성능 AE감수제 종류에 관계없이 슬럼프가 동일하면 강도에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 본 연구 결과 얻어진 고강도 영역에서 결합재-물 비와 콘크리트 압축강도와의 관계식은 다음 식과 같다.

저열 포틀랜드 시멘트 사용시, $f_{cr} = 15.0 \times B/W + 10.9$

저열 포틀랜드 시멘트 + 플라이애쉬 10% 사용시, $f_{cr} = 13.6 \times B/W + 9.6$

- 3) 자기수축, 수화열, 내구특성 등 고강도 콘크리트에서 중요한 특성은 현재 평가 중에 있다.

5. 참고 문헌

- 1) 하재담 외 5인, “저열 포틀랜드(4종) 시멘트를 사용한 고유동, 고강도콘크리트에 관한 연구”, KCI 1997년도 가을 학술발표회, 1997.
- 2) 하재담 외 5인, “한국 및 일본의 Belite Rich Cement를 사용한 자기충전형 콘크리트의 재료적 특성에 관한 연구”, KCI 1998년도 봄 학술발표회, 1998.
- 3) Effect of mix constituents on rheological properties of super workable concrete, T. Shindoh et al., Proceeding of the International RILEM Conference. No. 32 pp. 263270, 1996.
- 4) 黒田 保外 3人, 高ビーライト系セメントを用いたコンクリートの基礎的性状, セメント技術會講演集, No. 47, pp. 152157, 1993.
- 5) 岡村甫 외 “ハイパフォーマンス コンクリート”, 技報堂出版, pp. 3558, 1993.
- 6) 高ビーライト系ポルトランドセメント(セメントの性質と低熱・高流動・高強度コンクリートへの適用) 田中 光男外 3人, 콘크리트工学, Vol. 31(9), pp 1827, 1993.
- 7) 高ビーライト系セメントを用いたコンクリートの基礎的性状, 黒田 保外 3人, セメント技術大會講演集, No. 47, pp. 152157, 1993.